PHILIPS

10

elektronica in industrie en onderzoek



WIJ EN DE ELEKTRONICA



← *Antenne voor ontvangst van signalen van ruimtevaartuigen*

Werktuigen

Het leven van de dieren in de wildernis verschilde heel lang geleden maar zeer weinig van dat der primitieve mensen. Deze laatsten waren echter beter bewapend in de strijd tegen de verschrikkingen van de natuur. De mens bleek nl. in staat uit zijn ervaringen lessen voor de toekomst te putten, voor zichzelf, voor zijn stamgenoten, maar ook voor de na hem komende generaties. De levensomstandigheden van het menselijk ras kwamen geleidelijk op een hoger niveau doordat de natuurverschijnselen meer en meer tot eigen voordeel werden aangewend. Het vuur vooral was van belang. Het verschafte warmte en licht; boomstammen konden er mee worden uitgehold, planken naar wens krom getrokken. Metalen werden er mee uit hun ertsen gewonnen, gesmolten en bewerkt.
De mens leerde ook andere materialen als steen, hout, glas, klei enz. bewerken tot produkten, bruikbaar voor allerlei doeleinden. Ten dele waren dit gebruiksvoorwerpen voor het dagelijks leven, de jacht en de krijg. Een ander deel werd gebruikt als gereedschap bij de vervaardiging van andere produkten. Zij dienden om grote kracht te kunnen uitoefenen — toepassing van het hefboomprincipe — of om te kunnen snijden, zagen, boren, malen, pletten, slijpen; ook om iets handig te kunnen aanpakken, optillen of vastzetten (fig. 1).
Dit zijn de zgn. *werktuigen*, „verlengstukken" voor de vingers van de *hand*werker. Kenmerkend voor deze mechanische hulpmiddelen is dat de energie, benodigd voor het gebruik ervan, door de mens geleverd moet worden. Met een betrekkelijk kleine kracht op een hefboom b.v. kan men een grote *kracht* uitoefenen, maar de gebruiker moet zelf de arbeid, de *energie* leveren om de hefboom te laten bewegen.
Een werktuig kan als volgt gekarakteriseerd worden: het is gereedschap voor de *zwakke, onhandige mens* (fig. 2).

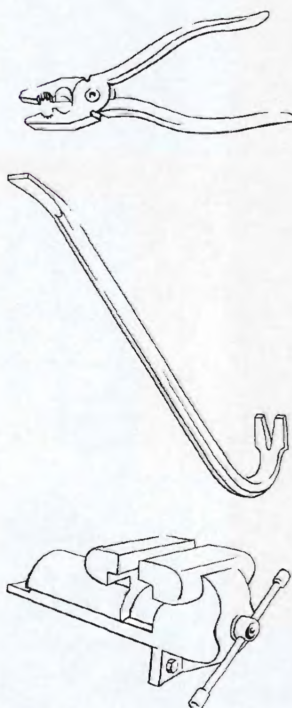


Fig. 1. Enkele werktuigen

Machines

Al spoedig waren de behoeften van het maatschappelijk leven zo sterk gegroeid, dat opvoering van de produktie, wat soort en aantal betreft, nodig was. In de ambachten voltrok zich daarom een specialisatie. De omvang van de produktie werd vergroot door het inschakelen van meer mensen. Slaven

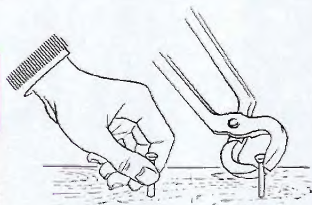
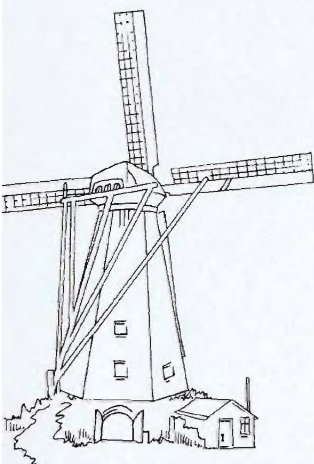


Fig. 2. Voor veel taken is de mens te zwak en te onhandig



konden b.v. het primitieve werk overnemen, zoals het leveren van de energie om de werktuigen in beweging te houden. Het bedienen hield de ambachtsman in eigen hand.
Ook dierlijke energie werd reeds heel lang geleden gebruikt. Evenzo kon men aan stromend of vallend water en aan de wind met diverse soorten molens voldoende energie voor kleine werkplaatsen onttrekken. Werktuigen zoals deze molens, die energie kunnen leveren, noemt men arbeidsmachines of kortweg *machines*. Deze brachten de houtzagen, molenstenen, schepraderen, boren, slijpstenen enz. in beweging.
Volledigheidshalve vermelden wij, dat de naam „machine" ook gebruikt wordt voor werktuigen met een gecompliceerd karakter, b.v. de naaimachine en de grasmaaimachine.
De ontwikkeling ging voort. De stoommachine werd uitgevonden en, vooral door *James Watt* (1736-1819), vervolmaakt tot een betrouwbare bron van veel energie.
In het begin van de 19e eeuw voltrok zich zodoende de zgn. *industriële revolutie:* de mens heeft als energiebron bij het gebruik van de in fabrieken geconcentreerde werktuigen nagenoeg afgedaan. De produktie is gemechaniseerd en geschiedt eigenlijk niet meer direct door de mens zelf. In de meeste gevallen is de arbeider, in de letterlijk natuurkundige zin, geen arbeider meer; hij is slechts stuurman en controleur geworden. De invoering van elektriciteit en de uitvinding van de verbrandingsmotor versterkten deze ontwikkeling. Ook in kleine werkplaatsen deed de machine zijn intrede.
Kunnen wij de werktuigen zien als hulpmiddel voor de „te zwakke mens", de arbeidsmachine is te karakteriseren als hulpmiddel voor de mens die zelf niet voldoende energie kan leveren, of anders gezegd, voor de *spoedig uitgeputte mens.*

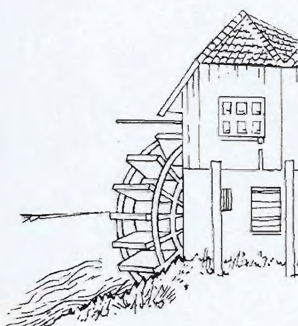
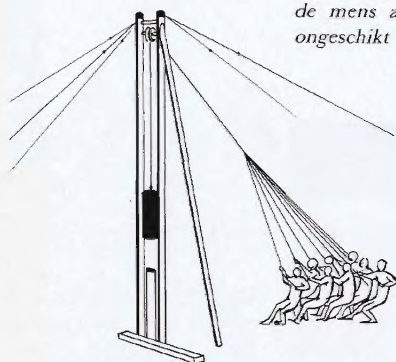


Fig. 3. Enkele natuurlijke energiebronnen



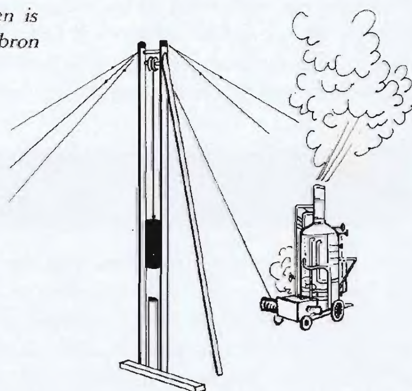


Fig. 4. Voor veel taken is de mens als energiebron ongeschikt

Bovendien: mechanische arbeid geleverd door de mens is thans ongeveer 500 keer zo duur als elektrische energie.

Verdere ontwikkelingen

Door de steeds hogere eisen bleek de mens spoedig ook op andere punten te kort te schieten in zijn prestaties. Behalve dat hij niet genoeg kracht kon uitoefenen en niet voldoende energie kon leveren, bleek hij niet snel genoeg in zijn handelingen. Ook de nauwkeurigheid waarmede hij kon werken, was vaak te klein voor de gestelde kwaliteitseisen. De mens is dus ook *te traag* en *te onnauwkeurig!*
Destijds werden hoefijzers door de hoefsmid met de hand gemaakt. Een afwijking van enkele mm in de diameter daarvan maakte deze zeker niet onbruikbaar. De zuigers van de automotor, die het paard vervangen heeft, moeten echter op enkele duizendste mm nauwkeurig zijn. Deze kunnen dan ook niet „op het oog" gemaakt worden, zeker niet als er honderden per dag tegen aanvaardbare prijs beschikbaar moeten komen. Alleen door *automatisering* van de besturing van de werktuigen kon de gewenste snelheid bereikt worden. Nieuwe kunstmatige zintuigen moesten het waarnemingsvermogen van de mens en de machine opvoeren en uitbreiden om deze snelheid te kunnen bijhouden en om de gewenste grote nauwkeurigheid en betrouwbaarheid bij de controle mogelijk te

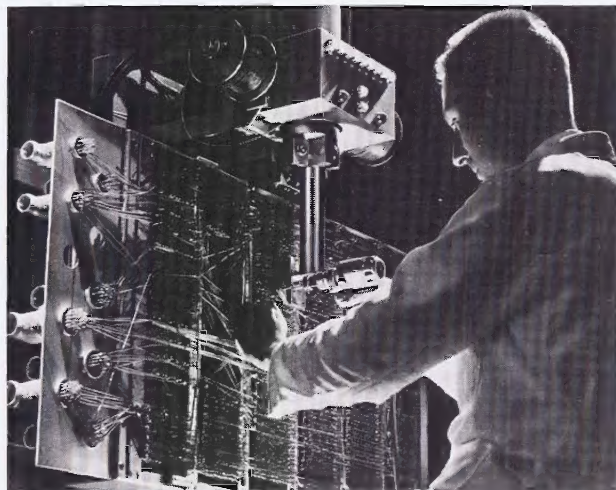


Fig. 5. Automatische besturing bepaalt de positie van het soldeerapparaat voor het bevestigen van de verbindingen

maken. Aanvankelijk waren dit eenvoudige hulpmiddelen, maar thans kan besturing en controle praktisch volledig door elektrische apparaten worden overgenomen.
Wij zullen hiervan enkele voorbeelden geven.

Waarnemen en meten

Eerst willen wij aan de hand van een tweetal voorbeelden nagaan hoe de mens zelf zijn werktuigen en machines bestuurt en de produkten controleert.
Het smidsbedrijf is een heel oud ambacht. Met een tang wordt het gloeiende stuk ijzer in de juiste stand op de juiste plaats van het aambeeld gelegd. Met grote kracht komt de smidshamer neer op de juiste plek. Dit zijn bij uitstek bestuurde handelingen, waarbij de smid zijn ogen beslist niet kan missen. Hij heeft deze echter ook nodig om vast te stellen of het vuur aangeblazen moet worden, of het ijzer nog warm genoeg is, of het nog verder vervormd moet worden enz. Van dergelijke controles hangt af wat de smid verder doen moet. Een laatste keurende blik vormt de eindcontrole. Een machinebankwerker zal met zijn draaibank b.v. een as moeten maken. Ook hier worden de handelingen waarmede hij de snijbeitel bestuurt, bepaald door voortdurende controlerende waarnemingen. Is de diameter nog te groot en moet er dus nog meer metaal worden afgedraaid? Of is het oppervlak nog te ruw?
Besturing en controle kunnen dus niet zonder *waarnemin-*



Fig. 6. Een draaibank; het oog bepaalt wat de hand doen moet

gen geschieden, ook als men dit automatisch wil doen. Elk automatisch apparaat zal daarom onderdelen moeten bevatten die kunnen waarnemen en meten.
Er zijn tal van natuurkundige grootheden die door meting in getallen vastgelegd kunnen worden: temperatuur, afmeting, hardheid, kleur, tijd, bewegingssnelheid, gewicht, kracht, druk, elasticiteit, elektrisch geleidingsvermogen, magnetische eigenschappen enz. enz. Hulpinstrumenten in tal van variaties zijn de mens daarbij van dienst. Thermometers, schuifmaten, hardheidmeters, snelheidsmeters, balansen, drukmeters, ampèremeters enz. meten op een of andere wijze de gewenste eigenschap.
Behalve de direct aanwijzende meters zijn er ook instrumenten, de zgn. *opnemers*, die de te onderzoeken eigenschap omzetten in een elektrisch *signaal*, b.v. een variatie van de doorgaande elektrische stroom. Enkele van deze opnemers zijn reeds eerder besproken. Zo worden elektrische signalen verkregen van *geluid* door een microfoon, van *licht* door een fotocel, van *temperatuur* door een temperatuurgevoelige weerstand, van *beweging* door de groeftaster van een platenspeler enz.
Het signaal kan na versterking gemakkelijk elektrisch worden gemeten. De gewenste eigenschap is zodoende langs indirecte weg onderzocht.

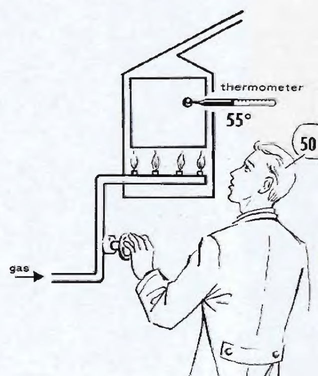


Fig. 7. Waarnemen en regelen

Automatisch regelen

Indien een natuurkundige grootheid, b.v. de temperatuur van een oven, gemeten kan worden, dan is het ook mogelijk deze te *regelen*. Het eenvoudigste *regelprogramma* is het constant houden van de temperatuur. Wordt de oven b.v. met gas verwarmd, dan ligt regeling van de gastoevoer voor de hand. In fig. 7 zijn de onderdelen van de *regelaar* getekend.
Het regelproces bestaat nu hieruit, dat zodra waargenomen wordt dat de temperatuur van de gewenste afwijkt, de regelkraan bediend wordt, zodat óf meer óf minder gas toestroomt. Als we de temperatuur opvatten als *gevolg* en het toevoeren van gas als *oorzaak*, zien we in het regelproces dus

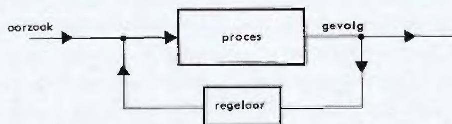


Fig. 8. Principe van een regelaar

een teruggrijpen van het gevolg op de oorzaak (fig. 8). Dit wordt het principe van de *terugkoppeling* genoemd. Daar een temperatuurstijging tot gevolg moet hebben, dat de temperatuur weer daalt, is hier sprake van een zgn. *tegenkoppeling*.
In dit voorbeeld kan de tegenkoppeling worden verzorgd door de mens, die de bereikte temperatuur afleest, deze met de gewenste temperatuur vergelijkt en op grond daarvan de gaskraan bedient. Het is echter betrekkelijk eenvoudig de mens door een apparaat te vervangen. Dergelijke *automatische regelaars* werken vaak elektronisch. Men heeft dan een opnemer nodig die de temperatuurafwijking van de oven aangeeft met een elektrisch signaal. De regelaar bedient dan, b.v. door een elektromotor, de gaskraan.
Wordt de regelaar voorzien van een geheugen, dan is het ook mogelijk een bepaald programma af te laten werken. Bij sommige fabricageprocessen is het nl. nodig de temperatuur na verloop van tijd te wijzigen, b.v. gedurende 10 minuten op 100 °C, vervolgens 5 minuten op 150 °C enz.
Het gebruik van een regelaar heeft veel voordelen. Er komt een mens vrij voor minder eentonig werk van hoger niveau. Afgezien van storingen werkt de regelaar echter ook betrouwbaar: hij kan niet afgeleid worden en de aandacht zal nooit verslappen. Ook kan een grotere snelheid en een grotere nauwkeurigheid worden bereikt.
Een bijzondere regeling vindt men in radiotoestellen. Door atmosferische omstandigheden, zoals fading, kan de sterkte van het radiosignaal dat via de antenne binnenkomt, vrij snel in sterkte wisselen. Dit is zeer hinderlijk. Daarom bevat het toestel een zgn. *automatische volumeregelaar*, die de hoogfrequentie-versterker zo regelt, dat de draaggolftrilling in het toestel steeds even sterk blijft (zie deel 1, Radio). Het spreekt vanzelf dat deze regeling niet zo ingericht moet worden, dat het geluid steeds dezelfde sterkte heeft!
Natuurlijk is in de industrie niet alleen de temperatuur van belang: alle mogelijke natuurkundige grootheden kunnen belangrijk zijn en regelaars vereisen. Soms — als vele factoren tegelijkertijd een rol spelen — zal regeling van een enkele grootheid alleen niet voldoende zijn. Als voorbeeld noemen wij een kernreactor waarin door reacties tussen atoomkernen, energie wordt opgewekt. Als men zo'n reactor volledig beheersen en regelen wil, moeten op tal van plaatsen met korte tussenpozen telkens honderden gegevens worden gemeten. In dergelijke gevallen kan men natuurlijk niet meer spreken van eenvoudige regelsystemen. Men dient dan gebruik te maken van elektronische rekenmachines, die al deze gegevens met

enorme snelheid verwerken en hieruit de nodige besturende signalen opwekken, nodig om het geheel naar wens te laten werken. Dit lijkt zeer ingewikkeld, maar tenslotte komt ook dit neer op het eenvoudige principe van tegenkoppeling.
Voor elke te meten grootheid heeft men een opnemer nodig. Wij zullen nu enkele soorten daarvan bespreken.

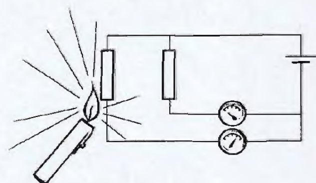


Fig. 9. Een weerstandsthermometer

Opnemers voor temperatuur

Wij spraken reeds over de temperatuurgevoelige weerstand. Vooral de weerstand van halfgeleiders vertoont een sterke afhankelijkheid van de warmtegraad (zie blz. 7 van deel 8, Halfgeleiders). Voor temperaturen nabij het absolute nulpunt, waar de weerstand van halfgeleiders te groot is, heeft een draad van platina de voorkeur.
De schakeling van dergelijke *weerstandsthermometers* is zeer eenvoudig. In een keten met een stroombron wordt een stukje halfgeleider of een platinadraadje opgenomen, dat geplaatst is in de te meten ruimte. De sterkte van de stroom wordt dan bepaald door de grootte van de weerstand en dus door zijn temperatuur (zie fig. 9).
Ook kan het zgn. *thermo-elektrische effect* gebruikt worden. Wanneer men een keten opbouwt uit twee stukken draad van verschillend materiaal, zonder eigenlijke stroombron, zal er een stroompje gaan lopen zodra twee contactplaatsen *A* en *B* ongelijke temperatuur hebben (fig. 10). Deze stroom is groter naarmate het temperatuurverschil groter is. Brengt men *A* bv. op 0 °C en *B* in de te onderzoeken ruimte, dan wordt de stroomsterkte bepaald door de temperatuur van *B*. In zo'n *thermo-element* past men bv. koper en constantaan toe. Zeer hoge temperaturen, bv. van ovens, bepaalt men weer op andere wijze daar de opnemers zelf zouden verbranden of smelten. Met lichtgevoelige elementen meet men dan óf de intensiteit, óf de kleur van de licht- of warmtestraling die de oven uitzendt. Hoe hoger nl. de temperatuur, hoe intenser de straling en hoe meer de kleur van rood via oranje naar het geelwit en zelfs blauwwit toeschuift. Dergelijke *pyrometers* meten dus de temperatuur langs indirecte weg; het elektrische signaal ontstaat met licht als tussenfaze.
Het meest voor hand liggen eigenlijk de thermometers die berusten op de uitzetting van vaste stoffen (metaalthermometer), vloeistoffen (kwikthermometer) of gassen. Deze worden wel gebruikt, doch dan als schakelaars, die bij een bepaalde

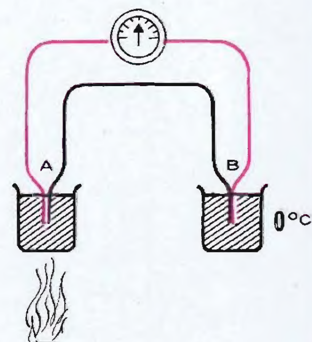


Fig. 10. Een thermo-element

temperatuur een stroom geheel in- of uitschakelen. Brandalarminstallaties, doch ook thermostaten, bv. in aquaria en in strijkijzers berusten op dit principe van „alles of niets". De eerder genoemde regelaars zijn van het *continue* type.

Opnemers voor plaats en verplaatsing

In een bijzondere continue temperatuuropnemer wordt gebruik gemaakt van deze uitzetting. Het gevoelige element is een strook *bimetaal*; twee repen van verschillend metaal met sterk uiteenlopende mate van uitzetting zijn daarin op elkaar gewalst. Een der uiteinden is vastgezet. Het bimetaal zal nu bij verwarming kromtrekken, waarbij het sterkst uitzettende metaal de „buitenbocht" neemt. De plaats van het losse uiteinde is dus een maat voor de temperatuur.
Hoe kan men nu deze „plaats" door middel van een elektrisch signaal aangeven? Aan het losse einde van het bimetaal bevestigt men daartoe een blokje zachtmagnetisch materiaal, bv. een weekijzer. Het geheel wordt geplaatst nabij de luchtspleet van een spoel met ijzerkern. De spoel vormt met een condensator een elektrische trillingskring (zie fig. 11).
Zoals behandeld op blz. 8 van deel 1, Radio is de frequentie van de opgewekte trilling afhankelijk van de elektrische waarde (zelfinductie) van de spoel. Deze laatste wordt nu bepaald door de plaats van het stukje weekijzer t.o.v. de ijzerkern. Het gevolg is dat de frequentie van de oscillator verandert door temperatuurvariaties. Men kiest bij voorkeur frequenties die met hoorbaar geluid overeenkomen. Sluit men nu via een versterker een luidspreker aan, dan hoort men bv. bij 20 °C een toon van 5000 Hz en bij 30 °C bv. een toon van 6000 Hz. In plaats van dat men de temperatuur *voelt* veranderen, *hoort* men dat nu!
Dergelijke *inductieve opnemers* worden toegepast in *radiosondes*, meetinstrumenten die voor het meteorologisch on-

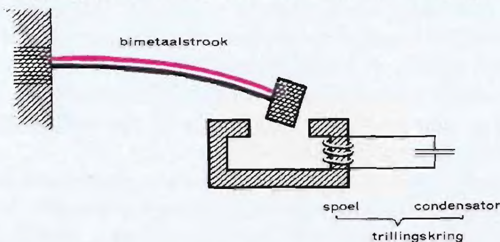


Fig. 11. Een inductieve (temperatuur-) verplaatsingsopnemer

derzoek van de luchtlagen tot ca. 10 km hoogte aan ballons worden opgelaten. De opgewekte trilling wordt op een radiogolf gemoduleerd en zo uitgezonden naar de waarnemer. Van de luchtlagen die de stijgende ballon doorloopt, is zodoende de temperatuur op afstand meetbaar. Dit is een voorbeeld van de z.g. *telemetertechniek*. Het stukje weekijzer kan vanzelfsprekend ook door andere oorzaken verplaatst worden. Zo bevat een radiosonde tevens een opnemer voor de *vochtigheidsgraad*. Een haar is in vochtige lucht langer dan in droge lucht; het zal dus, op de juiste wijze bevestigd, de frequentie van een oscillator kunnen beïnvloeden (zie fig. 12).



Fig. 12. Het oplaten van een radiosonde

Van de vele andere plaatsopnemers noemen wij nog slechts het type, dat gebruik maakt van een schuifcontact. Het zich verplaatsende voorwerp wordt vast verbonden aan een schuifcontact dat over een weerstandsdraad loopt. De weerstandsvariatie veroorzaakt het gewenste elektrisch signaal, nl. de variatie van de stroom in de keten.
Behalve de spoel (denk bv. ook aan de microfoon) kan uit de trillingskring ook de condensator als plaatsopnemer dienen. Een variatie in de afstand der platen verandert nl. de elektrische waarde (capaciteit) ervan en hiermee kan weer een elektrisch signaal worden afgeleid.
Verplaatsingsmeters gebruikt men o.a. bij het automatisch boren van gaten (fig. 13).

Opnemers voor versnelling

Wanneer men een lichaam *A* bevestigt tussen twee schroefveren in een raam *B* (zie fig. 14) en dit een versnelde beweging

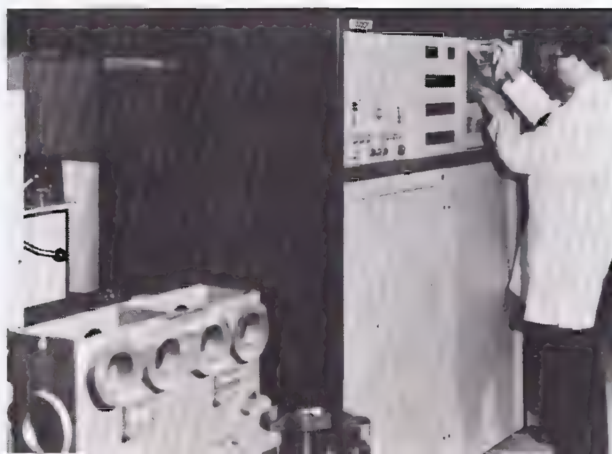


Fig. 13. Gaten boren met behulp van het Snorapparaat voor automatische besturing

geeft, zal *A* door zijn traagheid enigszins achterblijven bij *B*. De verplaatsing van *A* t.o.v. *B* is zodoende een maat voor de versnelling waaraan het geheel onderhevig is (versnelling is snelheidsverandering per seconde). Een spoel met luchtspleet of een condensator kan deze verplaatsing, zoals eerder be sproken, omzetten in een elektrisch signaal.

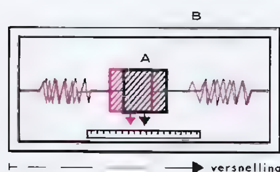


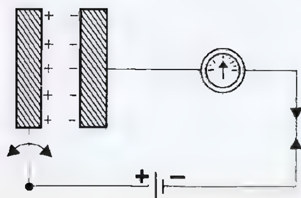
Fig. 14. Een versnellings-opnemer

Bij oceanografisch onderzoek van de zeegang op de Noordzee ten behoeve van de Deltawerken gebruikt men drijvende boeien met dergelijke *versnellingsopnemers*. Het verkregen signaal wordt per radio naar het vasteland overgebracht. Uit deze informatie volgt hoogte en frequentie der golven.

Ook bij de navigatie van raketten en onderzeeboten maakt men tegenwoordig gebruik van dit traagheidsprincipe (inertial navigation), verwerkt in opnemers met een haast onvoorstelbare gevoeligheid. De vlakke ligging van spoorrails kan er eveneens nauwkeurig mee worden gecontroleerd vanuit een rijdende wagon.

Opnemers voor geluid

Veel behoeven wij niet meer te zeggen van de *geluidsopnemers*, zoals men microfoons zou kunnen noemen. Steeds vinden wij daarin een metalen plaatje dat door de geluidsgolven in trilling komt. Inductieve microfoons zetten met een spoel deze trilling om in een elektrische trilling (zie blz. 5 van deel 1, Radio). In de capacitieve microfoon is het trilplaatje een der platen van een condensator (fig. 15). De trilling veroorzaakt een periodieke verandering van de capaciteit daarvan en indien deze aangesloten is op een gelijkspanningsbron, ontstaat in de keten een wisselstroompje door het toe- en afvloeien van elektrische lading. Van geluid zijn op deze manieren de frequentie, samenstelling en sterkte te bepalen. Er zijn zelfs applausmeters!


Fig. 15. Een capacitieve opnemer

Opnemers voor mechanische trillingen

De moderne maatschappij is ondenkbaar zonder de vele voorwerpen met ronddraaiende onderdelen: ventilators,

koffiemolens, centrifuges, auto's, vliegtuigen, treinen, machines enz. Hierin treden als ongewenst bijverschijnsel vaak trillingen op, die niet alleen hinderlijk zijn, doch die ook de levensduur van het apparaat nadelig beïnvloeden. Trillingen in vliegtuigvleugels hebben reeds enkele malen tot ernstige ongevallen geleid door het optreden van vermoeidheidsverschijnselen in het metaal. Onderzoek van de trillingen is van belang voor het opsporen van de oorzaak. Voor dit doel kent men inductieve en capacitieve *trillingsopnemers*. Ze berusten op hetzelfde principe als de microfoons. Het te onderzoeken voorwerp laat men dan de functie verrichten van het trilplaatje. De rest ligt voor de hand.
Een bijzonder soort trillingsopnemer kennen we reeds in de groeftaster van de platenspeler. Overigens, alle plaatsopnemers zijn in principe als trillingsopnemer te gebruiken.

Opnemers voor ruwheid

Veel industriële produkten moeten tijdens hun afwerking worden gepolijst om het oppervlak minder ruw te maken. De timmerman kan nog met zijn vingers vaststellen of schaaf en schuurpapier nog eens over de plank moeten. Maar dit is voor de huidige eisen in de metaalbewerking een veel te grove manier. De ruwheid van een oppervlak kan men meten door een trillingsopnemer met een bepaalde snelheid daar over te bewegen. De taster ondergaat door de hobbels en dalen trillingen, die in een elektrisch signaal omgezet worden. Ook hier is een zeer grote gevoeligheid bereikbaar.

Opnemers voor tijd

Ook Vader Tijd schijnt elektronificering niet te kunnen ontgaan. Het uurwerk kent een lange geschiedenis. Zandloper, wateruurwerk, slinger- en ankeruurwerk zijn alle zuivere tijdmeters. De bekende elektrische klok bevat een elektromotortje. Dit draait rond met een snelheid die bepaald wordt door de frequentie van de wisselspanning waarop de klok aangesloten is. In de elektrische centrale zorgt men er voor dat de frequentie van het lichtnet 50 Hz is. Een hierop aangesloten klok loopt dan gelijk.

Deze klok is eigenlijk geen zelfstandige tijdmeter, doch slechts een tijdaanwijzer. Digitale tijdaanwijzers (zie blz. 2 van deel 9, Elektronische Rekenautomaten) bevatten elektronische schakelingen die het aantal keren tellen dat de spanning van het lichtnet positief is. Na elke 3000 wordt het minutengetal telkens met één verhoogd.
Zelfstandige elektronische tijdmeters bevatten eigen oscillators, die een wisselspanning opwekken. Door het gebruik van een klein stemvorkje of een bepaald soort kristal kan de frequentie hiervan heel nauwkeurig constant worden gehouden. Het meten van tijd is ook hier niets anders als het tellen van het aantal spanningswisselingen. Tegenwoordig bestaan er reeds elektronische polshorloges! Zij lopen op een miniatuurbatterijtje langer dan een jaar, met een nauwkeurigheid die niet onderdoet voor die van de beste veerwerkhorloges.
Hoewel elke fabriekswerker — zoals iedereen — steeds gaarne weten wil hoe laat het is, is het meten van het *tijdstip* in de industriële produktie niet van groot belang. Belangrijker is het meten van een *tijdsduur*.

In tal van gevallen zal een fabricageproces een zeer bepaalde tijdsduur moeten hebben, niet langer en niet korter. Vloeistoffen bv. dienen gedurende een zeer bepaalde tijd aan de kook gehouden te worden, lichtgevoelig materiaal gedurende een bepaald aantal seconden te worden belicht, elektrische stroom gedurende telkens enkele seconden door een lastoestel geleverd te worden. Voor dit doel zijn tijdschakelaars ontwikkeld die na verloop van een instelbare tijd uitschakeling automatisch tot stand brengen. Ook knipperlichten hebben een tijdschakelaar. Sommige tijdschakelaars berusten op het reeds besproken principe van tellen van elektrische spanningswisselingen. Andere bevatten een condensator die, òf na opgeladen te zijn via een zgn. lekweerstand langzaam leeg loopt, of uitgaande van de lege toestand, langzaam opgeladen wordt (zie blz. 12 van deel 4, Elektronenstraalbuizen). Niets is vervelender voor de mens dan zonder verslapping van de aandacht te moeten wachten op het verstrijken van een lange tijdsduur. De elektronica kan deze taak op betrouwbare wijze overnemen. Ook het inschakelen van een stroom, telkens gedurende een zeer korte tijd, zoals nodig bij bepaalde elektrische lasprocessen, is nu mogelijk. De lasverbindingen zullen nu ook onderling homogene kwaliteit bezitten. Tenslotte noemen we nog de tijdschakelaars in doorlichtinstallaties, die ervoor zorgen dat de patiënt niet langer dan nodig aan de röntgenstralen blootgesteld wordt.

Opnemers voor radio-actieve straling

Er zijn tal van atoomsoorten, waarvan per tijdseenheid een constant gedeelte van het aantal kernen uiteenvalt. Bij elke kerndeling wordt energierijke straling (radiatie) uitgezonden, die ten dele uit snelle deeltjes bestaat en ten dele uit elektromagnetische golven. Vooral deze laatste, de zgn. *gammastraling*, heeft een sterk doordringend vermogen. sterker zelfs dan de nauw verwante röntgenstralen.

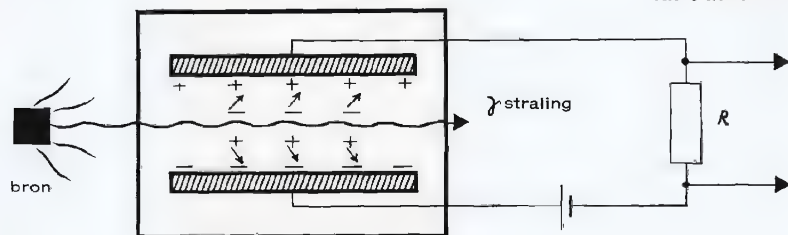
Ook voor deze straling bestaan opnemers of detectors. Deze berusten op de ioniserende werking van de straling. Laat men deze nl. door een gas gaan, dan worden uit een aantal gasatomen elektronen losgeslagen. Naast deze vrije elektronen ontstaan dus positieve ionen, atomen die een (of meer) elektronen verloren hebben. Door deze *ionisatie* zijn dus in het gas vrije ladingdragers ontstaan en wel des te meer naarmate de stralingsstoot energierijker was.

In dit gas bevindt zich een tweetal elektroden waartussen een spanningsverschil bestaat. De elektronen in deze *ionisatiekamer* (zie fig. 16) bewegen zich naar de positieve plaat, de positieve ionen naar de negatieve. Gedurende korte tijd, nl. zolang als deze voorraad strekt, loopt er dus een stroompje in de keten en ontstaat er over de weerstand *R* een spanningsstoot. De sterkte hiervan is een maat voor de sterkte van de stralingsstoot. Telkens als er een atoomkern uiteenvalt, kan er dus zo'n spanningsstoot optreden.

Dit principe wordt ook toegepast in de zgn. geiger-müller-buizen. Deze zijn, door gebruikmaking van een lawine-effect, zeer gevoelig. Ook halfgeleiders worden thans als *stralingsde tector* gebruikt.

De spanningsstoten worden versterkt en elektronisch geteld. Ook kan men ze hoorbaar maken, zodat men een steeds sneller getik hoort als een stukje radio actief materiaal de detector nadert.

Fig. 16. Een opnemer voor radio actieve straling



Hoe kan men dit alles nuttig toepassen? Slechts enkele toepassingen kunnen hier kort worden vermeld.
Met een hoeveelheid radio-actief zand ergens in zee gestort, is na te gaan hoe zand in de loop van de tijd door zeestromingen verplaatst en verspreid wordt. Met kunstmest waarvan bv. een deel der fosforatomen radio-actief is, is gemakkelijk te onderzoeken welke soort kunstmest het best opgenomen wordt, in hoeveel tijd, in welke plantendelen enz.
Wil men weten hoe een mol zich onder de grond beweegt, dan voorziet men het diertje van een heel klein stukje radio-actief materiaal. Boven de grond kan men dan met een stralingsdetector de plaats van de mol op elk ogenblik bepalen. De gedragingen van één enkele bij in de zwerm zijn te volgen als we deze bij radio-actief „merken".
Jodium uit ons voedsel wordt opgenomen in de schildklier. De juiste werking ervan is te constateren door gebruikmaking van radio-actief jodium. Ook de plaats van verborgen gezwellen in het menselijk lichaam kan van buiten af door middel van dergelijke technieken worden opgespoord.
Maakt men een deel van de wand van een motorcilinder radio-actief, dan zal onderzoek van de radio-activiteit van de smeerolie reeds na zeer korte tijd een indruk geven van de slijtage. Minimale hoeveelheden ijzer zijn reeds aantoonbaar.
Zo zijn er veel meer toepassingen op de meest uiteenlopende takken van wetenschap en techniek. Hoe interessant ook, we zullen ze hier niet kunnen bespreken.

Opnemers voor licht

We hebben deze reeds besproken; hoe de fotocel werkt, zagen we reeds in het deel Elektronenbuizen, terwijl de lichtgevoelige weerstand in Halfgeleiders ter sprake kwam. Veel is hiermede voor meting, controle en regeling toegankelijk geworden. Lichtopnemers kunnen constateren of er wél of géén licht is, hoe sterk het is en welke kleur het heeft.
Voorzien van de nodige instrumenten kunnen zij:
— als het donker wordt de stadsverlichting inschakelen, 's avonds, bij een zware bui of tijdens een zonseclips,
— in oliestookinstallaties de oliepomp stoppen als de vlam is uitgegaan,
— een lopende band stilzetten als deze vol is,
— gastvrij een deur openen nadat de bezoeker een lichtstraal onderbroken heeft,

- alarm slaan als een onbevoegde datzelfde doet, nu echter vlak voor de deur van een goed gevulde kluis,
- voor een betere luchttoevoer naar de vuurhaard zorgen, als de rook in de schoorsteen zo ondoorzichtig is, dat een lichtstraal daarin te veel verzwakt wordt,
- constateren hoe hoog een vloeistof in een reservoir staat en de aanvoer aanzetten of stopzetten,
- de sterkte meten van het licht uit een vergrotingstoestel, de belichtingstijd berekenen en de sluiter zo nodig bedienen,
- in verpakkingsmachines de, op lange rollen gedrukte etiketten, op de juiste plaats af laten snijden,
- het aantal keren tellen dat een lichtstraal onderbroken wordt door blikjes op een lopende band, of datzelfde door een getand wiel, zodat de snelheid van dat wiel en van een metaaldraad die er omheengeslagen is, kan worden bepaald (fig. 17),

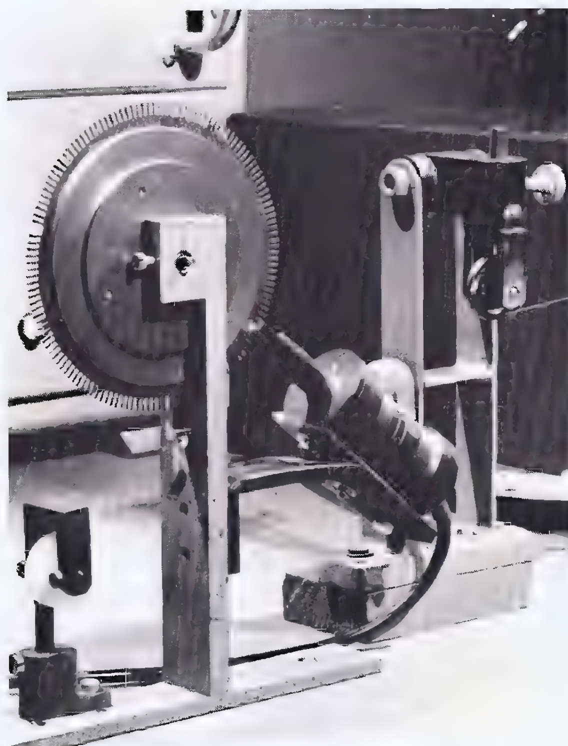


Fig. 17. De snelheid van de wolfraamdraad wordt gemeten door middel van een fotocel



Fig. 18. Een rekstrookje

- door kleurfilters heen de kleur bepalen van een voorwerp en zo nodig witte bonen van bruine scheiden,
- camera's in kunstmanen naar de zon richten,
- kortom . . . ja, niet alles, maar toch heel veel!

Rekstrookjes

Een heel bijzondere opnemer is het rekstrookje; tal van verschijnselen kunnen er mee worden onderzocht. Tussen papierlaagjes is weerstandsdraad lusvormig vastgelegd (zie fig. 18). Het geheel, hoogstens enkele cm lang, wordt stevig vastgelijmd op het te onderzoeken voorwerp, bv. een ijzeren staaf. Indien deze staaf nu door een kracht uitgerekt wordt, zal de weerstandsdraad iets langer en iets dunner worden. Beide effecten veroorzaken te zamen een weerstandstoeneming die, hoe buitengewoon klein ook, met speciale schakelingen zeer nauwkeurig meetbaar is. Daar de weerstandsverandering evenredig is met de uitrekking van de staaf en dus ook met de kracht, kan men met deze *rekstrookjesmeettechniek* op elegante wijze uitrekkingen en krachten meten.
Men onderzoekt zo, wáár in een metaalconstructie, bv. een brug of een kraan, of in modellen daarvan, bij belasting te grote vervormingen optreden en waar dus dikker of steviger materiaal nodig is. Ook kan men krachten meten, druk of trek, en dus ook gewichten. Hoeveel weegt de last aan de haak van een hijskraan? Hoeveel weegt een locomotief? Hoeveel kg steenkool of graan passeert er per seconde over een transportband? Dit zijn vragen waarop het antwoord gevonden kan worden door op de juiste plaats één of meer rekstrookjes te bevestigen met de nodige hulpapparatuur. Combinaties van strookjes maken het mogelijk ook de torsie (wringing) van de schroefas van een schip te bepalen, zodat ook de kracht die de machine op de schroef uitoefent gemeten kan worden (fig. 19). Ook lenen rekstrookjes zich als trillingsopnemer.
Bij deze nog veel te korte opsomming zullen wij het moeten laten. Wij vragen nu aandacht voor enkele toepassingen van de elektronica buiten het gebied van meten en regelen.

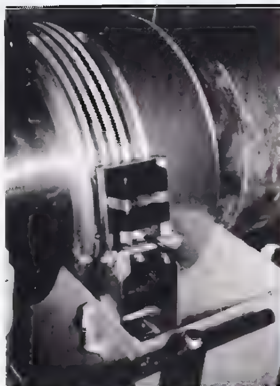


Fig. 19. Rekstrookjes gemonteerd op een schroefas

Materiaalonderzoek

Röntgenapparaten worden niet alleen gebruikt bij onderzoek en behandeling van patiënten, doch ook bij de controle van

industriële produkten. Een gietstuk of een lasnaad mag er van buiten nog zo fraai en stevig uitzien, als zij holten bevatten, zijn zij vaak onbruikbaar. Behalve *röntgenstralen* komen voor het opsporen van fouten ook de veel doordringendere *gammastralen* in aanmerking, vooral daar, waar aansluiting op het lichtnet onmogelijk is. Een capsule bv. met radio-actief kobalt wekt deze straling nl. zonder uitwendige energiebron op.
Behalve deze elektromagnetische golven worden ook geluidsgolven toegepast. Met *ultrasoon geluid*, waarvan de frequentie boven de 20.000 Hz ligt, kan men — net zoals bij sonar (zie het deel Radar) — uit de reflectie op inhomogeniteiten in het materiaal de ligging daarvan opsporen.

Elektronische werktuigen

Bij de fabricage en het onderzoek treft men ook steeds meer elektronische werktuigen aan. Met *ultrasone golven* in een vloeistof kan men op snelle wijze wassen en zelfs sterk vervuilde oppervlakken snel schoontrillen. Met een energierijke ultrasone geluidsbundel boort men gaten in glas of metaal. Brengt men geleidende stoffen in een *hoogfrequent magnetisch wisselveld*, dan ontstaat daarin warmte. Men kan er metalen in een vacuüm mee smelten — germanium wordt zo



Fig. 20. Een elektronisch fornuis

gezuiverd — zonder dat verontreiniging door de lucht of de verbrandingsgassen optreedt. Bij de conventionele verwarmingsmethoden wordt de warmte steeds van buiten af toegevoerd.
Niet-geleidende stoffen vertonen dezelfde soort warmteontwikkeling als ze in een *hoogfrequent elektrisch wisselveld* van een condensator worden gebracht. Nat of pas gelijmd hout kan zo ook van binnen gedroogd worden, dikke stukken rubber ook van binnen gevulcaniseerd. Lappen van plastiek worden er mee aan elkaar gelast. Ook in de moderne keuken wordt deze *hoogfrequentie verhitting* toegepast; de biefstuk kan nu tevens van binnen gebakken worden. Met elektronische fornuizen is het mogelijk binnen enkele minuten diepgevroren maaltijden warm te maken, zonder bijsmaak, doch ook zonder verlies van eigen aroma of van vitaminen (fig. 20).
Deze hoogfrequente velden worden alle opgewekt door elektronische apparaten; de oscillator is hun belangrijkste onderdeel. Elektronenstralen in een soort elektronenstraalbuis (zie het deel van die naam) kan men door het gebruik van zeer hoge spanningen zo snel maken, dat ze uit een stuk metaal materiaal kunnen wegslaan. Daar de straal elektrisch of magnetisch bestuurbaar is, kan men zo heel fijn en nauwkeurig frezen en graveren.
Microscopen die met lichtstralen werken, laten ten hoogste een vergroting van enkele duizenden malen toe. Met *elektronenmicroscopen*, een bijzonder soort elektronenstraalbuis, zijn vergrotingen van honderdduizend maal of meer mogelijk. Veel is daarmede op medisch gebied ontdekt tot heil van de mens.

Telecommunicatie

Natuurlijk maakt men in de industrie en in onderzoeklaboratoria ook gebruik van de elektronische verbindingsmiddelen. Zonder oproep- en omroepinstallaties, telefoon, telegraaf, telex, radio en televisie gaat het niet meer. Telecommunicatiekanalen kunnen vanzelfsprekend ook dienen voor meet- en regeldoeleinden (telemetrie). Alles kan tegenwoordig „op afstand" geschieden, het meten, het regelen, het horen en ook het zien. In de administratie worden steeds meer mechanische en automatische, dus geëlektronificeerde machines toegepast. Vestigingen overal in het gehele land van grote bedrij-

ven kunnen elk op hun beurt de rekenopdrachten, administratieve problemen, salarisgegevens enz. per draad of draadloos opgeven aan het gemeenschappelijke rekencentrum. Het antwoord volgt per ommegaande.

Besluit

Zelfs op de meest onverwachte plaatsen komen wij de elektronica, hulpmiddel dienstig aan de mens, tegen. Veel nieuwe toepassingen kunnen nog verwacht worden: de opmars van de elektronica is pas enkele jaren geleden begonnen. Veel interessante werkkringen, vol goede vooruitzichten, liggen open voor hen die geboeid worden door dit mengsel van techniek en wetenschap ... werk op het gebied van onderhoud en fabricage, ontwerp en onderzoek. Zeker is het dat *Wij* en de *Elektronica* elkaar nog vele malen zullen ontmoeten!

Fig. 21. Controle-kamer van de TV-installatie in het hoofdpostkantoor in Rotterdam



Woorden en begrippen

PHILIPS NEDERLAND N.V. – EINDHOVEN
AFD. ONDERWIJSVOORLICHTING